



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Andreas Kärp

**ANDMEHÕIVESÜSTEEM KOMBINEERITUD
KÜTTESÜSTEEMILE**

**DATA ACQUISITION SYSTEM FOR SMALL CENTRAL
HEATING PLANT**

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendajad: lektor Erkki Jõgi, *MSc*

dotsent Toivo Kabanen, *PhD*

Tartu 2021

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Andreas Kärp		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Andmehõivesüsteem kombineeritud küttesüsteemile			
Lehekülgi: 43	Jooniseid: 18	Tabeleid: 1	Lisasid: 1
Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika			
4.17. Energeetikaalased uuringud			
T140 Energeetika			
Juhendaja(d): Erkki Jõgi, Toivo Kabanen			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
<p>Tänapäeval, kus peaaegu kõik aspektid meie elust on tihedalt seotud arvutustehnikaga, jätame tihti tahaplaanile ellujäämise aspektist väga tähtsa osa – soojus. Kodused küttesüsteemid, kuigi tihti omades kontrollereid, ei ole mugavalt liidestatavad üksteise ning levinud personaalarvutitega ilma seadme tootja tehnoloogilisse ökosüsteemi veel rohkem investeerimata. Töö eesmärk on luua Tartu eramu tehnooruumis olevale kombineeritud küttesüsteemile tsentraalne andmehõivesüsteemi lahendus kasutades võimalikult palju olemasolevaid kontrollereid ning sensoreid. Töös uuritakse olemasolevat tehnosüsteemi ning pakutakse välja andmehõivesüsteemi disain koos spetsiifiliste seadmete ning tarkvaraliste lahendustega optimaalse kasutajakogemuse jaoks. Töö on rakendatav lähteülesandena nii paigaldus- kui ka tarkvaraprojekti jaoks. Töös on välja toodud süsteemi laiendamise ning täieliku integratsiooni võimalused.</p>			
Märksõnad: eramu küttesüsteem, RESOL, päikeseküte			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor’s Thesis	
Author: Andreas Kärp		Curriculum: Engineering,	
Title: Data Acquisition System for Small Central Heating Plant			
Pages: 37	Figures: 15	Tables: 1	Appendixes: 1
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering 4.17. Energetic Research T140 Energy research Supervisors: Erkki Jõgi, Tovo Kabanen Place and date: Tartu 2021			
<p>In a world where nearly all aspects of our lives are entwined with computer technology, we often forget about a key aspect of survival – warmth. Residential heating system, though often equipped with some forms of logic controllers, are seldom comfortably interfactable with each other and common personal computers, without further investments into a specific vendor’s technological ecosystem. The goal of this thesis is to design a central data acquisition system using as much of the existing sensors and controllers as possible for a combined heating system situated in a residential building’s utility room in Tartu, Estonia. The existing system was thoroughly studied and basing on those findings, a design for a data acquisition system was offered alongside with specific devices and necessary software solutions for an optimal user experience. The solution and design presented in the thesis can be used as a reference for an installation and a full software project. Within the work, expansion solutions are offered with the goal of creating a fully integrated system.</p>			
Keywords: residential heating, RESOL, solar heating			

SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	5
SISSEJUHATUS	6
1. KÜTTEMEETODID	7
1.1 Erinevad küttemetodid	7
1.2 Küttest kaugemale - hoone piirdematerjalide tähtsus, ventilatsioon, soojatagastus	8
2. METOODIKA NING OLEMAOSLEV SÜSTEEM	10
2.1 Metoodika	10
2.2 Olemasolevad seadmed	11
2.2.1 Küttekontroller OUMAN EH-800	11
2.2.2 Solaarjaam Haier HR-SC	13
2.2.3 Päikesekollektorid Haier PGT 2.0-2	16
2.2.4 Süsteemikontroller RESOL DeltaSol® MX	18
2.2.5 Akumulaatorpaak 500 L	20
3. ANDMEHÕIVESÜSTEEMI LAHENDUS	21
3.1. Lahenduse ülesehitus	21
3.2. Seadmete ühendused	22
3.3. Lisatavad seadmed	24
3.3.1 RESOL Datalogger DL2	26
3.3.2 Raspberry PI 2 mudel B	27
3.4. Andmemudel	27
3.5 Paigaldatud süsteemist kogutud andmed	29
3.5.1 12. juuli- 16. august ülevaatlikud andmed	30
3.5.2 Täpsustatud vaade lühemale perioodile 14-15.07.2021	32
3.6 Arutelu	36
KOKKUVÕTE	38
KASUTATUD KIRJANDUS	39
SUMMARY	41
LISAD	42
Lisa 1 Lihtlitsents	43

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

α_p	-	paneeli paigaldamise soovituslik nurk, °
β_l	-	paneelide asukoha laiuskraad, °
C_p	-	aine erisoojus, kJ / (kg °C)
CRC	-	<i>Cyclic Redundancy Check</i> , tsükelkoondkontroll, andmetelt(sõnumilt) loodud kood, mis antakse edasi andmetega koos kontrollimaks edastatud andmete terviklikust.
E_l	-	seadmete poolt tarbitav aasta jooksul tarbitav energia, kWh
E_e	-	kiiritustihedus, kiirusvoog pinnaühikule, W/m ²
G	-	paneelile paistev kiiritustihedus, kokkuleppeliselt 1000 W/m ²
I_i	-	tarbija nimivool, A
n	-	tarbijate arv
η_a	-	paneeli kasutegur ümbritseval temperatuuril $t_a = 30\text{ °C}$
P_{teor}	-	kollektorinstallatsiooni teoreetiline võimsus, W
RTU	-	<i>Remote Terminal Unit</i> , kauge terminalüksus. RTU suhtlusformaad on jadaedastus-tüüpi andmeside kompakne binaarne esitus.
S_p	-	paneelide pindala, m ²
$SD\text{ kaart}$	-	<i>Secure Digital</i> . Väikmäluga mälukaardi formaad, välja töötatud <i>Secure Digital Card Association</i> -i poolt.
t_a	-	tundide arv aastas
U_i	-	tarbija nimipinge, V

SISSEJUHATUS

Juba pikalt on ühiskondliku tähelepanu all olnud energiasäästlikkus igapäevaelus, olgu selleks siis töökoht, transpordivahend, või tänapäeval erinevate initsiatiividega järjest rohkem päevakorda tõusev kodu. Seda aga ka põhjusega, Euroopas kuni 70 % eramute kasutatavast energiast läheb hoonete soojendamiseks või jahutamiseks [1]. Eestis on järjest enam asutud toetuste ning uutele ehitistele kehtestatavate nõuetega suunama igapäevaeluks vajaliku energiatarbe vähendamisele. Sellel on fenomenil on ka majanduslik pool, kus uue maja ehitamine või vana renoveerimine on kindlasti kallinenud uutele majadele kehtestatud materjali- ning energiaklassinõuete tõttu.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on kujundada olemasolevale kombineeritud küttesüsteemile tsentraliseeritud andmehõivelahendus nende sensorite ning süsteemi osade juures, mis võimaldavad suhtlust n n välismaailmaga.

Töös peatutakse andmehõive kui „targa“ hoone energiakasutuse kindla alustala vajalikkust, erinevate küttemeetodeid ning nende levikut ja efektiivsust meie kliimavöötmes, küttesüsteemide kontrolli ning kohanemisvõime vajalikkust efektiivsuse näitel. Kirjeldatakse olemasolevat tehnoruumi küttesüsteemi ning selle individuaalseid osi, lisaks töö lahenduse käigus lisatavaid seadmeid. Eesmärgiks on põhjalikult tutvuda olemasoleva situatsiooniga ning efektiivseima võimaliku lahenduse leidmine arvestades ka tuleviku laiendusvõimalusi. Kütte- ning kontrollsüsteemi elementide parameetrite kaardistamine on tähtis ning mahukas osa prosessist.

Esitatakse disainitud lahenduse nii riist- kui tarkvaralisel kujul. Välja pakutud lahendus hõlmab endast andmehaldus-, andmebaasi- ning veebiserverina toimivat Raspberry Pi 2 Model B miniarvutit ning RESOL VBus suhtlusliidest RESOL Datalogger MK2, Raspberry Pi koondab endasse andmed RESOL seadmetest ning võimalusel lähitulevikus ka OUMAN seadmest. Lahenduses kasutatakse vabavaralist tarkvara, kuid RESOL Datalogger andmekeskond ning platvorm on kinnised ning ei ole. Valitud ning paigaldatud seadmete kogutud andmete põhjal sooritatakse esmane analüüs käesoleva hübriidküttesüsteemi käitamise kohta suvekuudel, s t väljaspool aktiivset kütteperioodi.

1. KÜTTEMEETODID

1.1 Erinevad küttemetodid

Küttemetodite efektiivsus, hind ning kasutusala varieerub suuresti. Mis ühe jaoks on ainuõige lahendus ei pruugi juba logistilistel põhjustel teiste jaoks sobida. Ei ole ennekuulmatu, et linna eramajja on paigaldatud kaugkütte või -jahutuse trass, kuid tihti on see ikkagi kortermajade luksus. Kaugküttetrasside näol on tegemist kõige väiksema aastase energiakuluga hoone pinna ruutmeetri kohta. Samuti on (Tartu näitel) koostootmiselektrijaamal märkimisväärselt väike ökoloogiline jalajälg. Fortum Tartu kasutas 2021 aasta aprillis 96,2 % ulatuses soojuse tootmiseks taastuvkütuseid (biomassi) [4]. Kaugküttelahenduse puhul sõltub lahenduse keskkonnasõbralikkus paljuskohalikust soojusettevõttest, kelle valida on katelseadmes kasutatav kütus. [3]

Kohaliku katlasüsteemiga (näiteks gaasi-, biomassi- või õlikatla) on võimalik minimeerida soojusenergia ülekande kadusid põletades kütust lokaalselt tarbija lähedal. (Tahke)kütuse põletamise näol on tegemist juba iidse tehnoloogiaga, kus katelsüsteem ning soojussalvestid, soojusvahetid ning soojuskandjad tänases mõistes on tule ning põletamise ajalugu arvestades suhtelised uus fenomen. Kütuse põletamisel on ka veel eelised seoses küttesüsteemide mitmekesisusega, võimaldades olla sõltumatu välisest infrastruktuurist (ei ole küll tõsi n t tsentraalse gaasivõrguga ühendatud katla puhul). Selline kindlus, eriti Eesti pigem jahedas kliimas, et kuni kütust jagub, tuba külmaks ei jää, on tihti põhjuseks, miks paljud otsustavad ka uutes ehitistes näiteks puugaasikatla kasuks peamise kütteseadmena. Elekter ei ole inimõigus ning gaas ei kasva puu otsas. Lisaks väärib ka märkimist, et kui tarbeveesüsteem on seotud kohaliku küttesüsteemiga, võib tarbevee soojendamisele kulunud energia moodustada kuni 13% kuisest gaasitarbest [1].

Elekterkütte, näiteks harilikud elektrilised konvektor-radiaatorid, võib tuua negatiivseks näiteks, kus mõnel näitel võib tarbitava energia vahe ruutmeetri kohta olla lausa 70% [3]. Elekterküte, või elektrienergiat rakendavad küttesüsteemid nagu maa- või õhksoojuspumbad omavad suhteliselt väga kõrgeid kasutegureid, sest tööd teeb väliskeskkond, mitte elektrienergial toimiv seade; ning on kindlasti väärt kaalumist kui küttesüsteemi rajamine, muutmine, asendamine plaanis on. Kuid sõltuvus elektrienergiast

süsteemi toimimiseks on suur osa mida kaaluda, eriti soojuse varustuskindluse tagamise aspektist.

Päikeseküttesüsteemid on väga efektiivsed, kuid suhteliselt madala võimsuse ning lõpliku paigaldushinna suhtega. Lisaks toimib päikeseküttesüsteem meie kliimas kõige paremini sel ajal kui vajadus päikesekütte järele on madal (aprill – september) [11]

Küttesüsteemide intelligentse kontrollimisega on võimalik vähendada küttekulusid ning ülekütmist kuni 13 % [5]. Lisaks annab kogutav informatsioon võimaluse süsteemi edasi analüüsida ning suuremaid muudatusi sisse viia. Ei tohi ka unustada, et nimetatud küttesüsteemide tööala on inimeste eluruumid, kus lisaks majanduslikule efektiivsusele tuleb arvesse võtta ka inimeste mugavust. Hästi valitud, stabiilse temperatuuri ja korrektse suhtelise õhuniiskusega ruumis on palju meeldivam viibida. [5]

Innovatsiooni juhib praegu efektiivsus, taastuvus ning keskkonnajalajälje suurus kindlasti rohkem kui kütteelemendi võimsus, eriti arvestades kõrgeid nõudeid ning suuri tehnoloogilisi hüppeid, mida oleme teinud just materjalide soojusjuhtivuse vähendamises ning kontrollis.

1.2 Küttest kaugemale - hoone piirdematerjalide tähtsus, ventilatsioon, soojatagastus

Hoone, olgu see siis kortermaja, elumaja või avalik ruum, juures on tähtsalt kohal valitud konstruktsiooni ning isolatsioonimaterjalid. Juba ainuüski akende vahetamine, katusekorruse ja maja vundamendi soojustamine saavad anda juba rohkem kui 5% vahe primaarsüsteemidele kulunud energiatarbel (soe tarbevesi, kütte, tarbeelekter). Lisaks omab ka veel isolatsioonikihi all ka tähtsust maja konstruktsioonimaterjal [3]



Joonis 1.1 Soojustagastusega ventilatsiooniseadme tööd kirjeldav skeem (ingl. k) [2]

Soojustagastusega ventilatsiooniseadmed soojendavad väljutatava õhu arvelt väljast sisse võetavat õhku (joonis 1.1). Praegu turul olevad soojustagastusega ventilatsiooniseadmed suudavad tagastada 60...95 % kadusoojusest, mis küll erineb olenevalt kasutusel olevast tehnoloogiast (n.t plaat- või Z-voolu membraan-soojustagastusseade) [2]

2. METOODIKA NING OLEMAOSLEV SÜSTEEM

2.1 Metoodika

Töö käigus kaardistati kohtvaatluse käigus olemasolev erinevatel ajaetappidel paigaldatud tehnoloogiline situatsioon ning võeti arvesse hoone omaniku plaane, energiaturu trende ning seadusandlust, et planeerida tehnoloogiliselt ning majanduslikult mõistlik andmehõivesüsteem, millega oleks tulevikus võimalik liidestada ka teisi süsteeme, n t kaugloetavaid voolumõõtjaid elekterkütte, PV paneelide ning õhksoojuspumpade jaoks.

Loodud disaini eesmärk on olla väikse tehnoloogilise jalajäljega ning majanduslikult võimalikult soodne, toetudes seal kus võimalik avalikele arendusplatvormidele ning vabavaralistele tarkvaradele ja funktsiooniraamatukogudele, samas tagades kogutud andmete töötlemis- ning visualiseerimisvõimalused tänapäevaste parimate praktikate järgi.

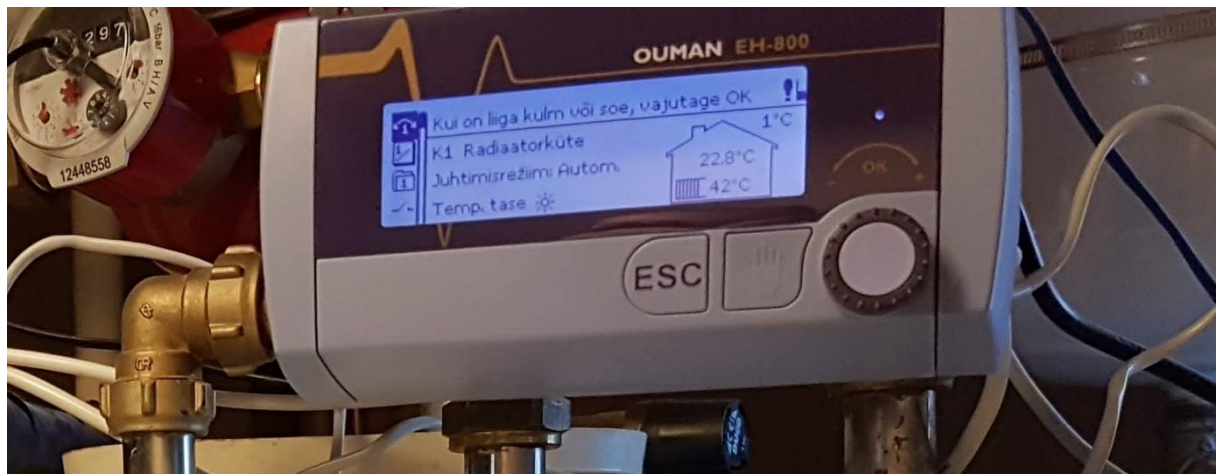
Disaini tarkvaralise osa juures ei seatud liigseid piiranguid disaini rakenduse funktsionaalsele lahendusele, rõhku omab andmemudeli ning selle töö toimimise saavutamiseks vajaminevate elementide kirjeldus. Andmemudeli valikul pandi ka rõhku sellele, et tulevikus oleks võimalik kaaluda ka tsentraalse kontrolli võimekuse lisamist. Lahenduses on toodud välja ka olemasoleva süsteemi kitsaskohad ning rakendamata võimekus kohtades kus see esineb.

Lahenduse käigus koostati ka andme- ning riistvaramudelid, mille abil on võimalik lahenduse disaini analüüsida ning tuvastada võimalikke kitsaskohti. Lisaks toimivad visuaalsed mudelid ka selgitavalt. Välja töötatud mudelite järgi paigaldati vajalikud seadmed, töötati välja esmane tarkvaraline lahendus ning koguti olemasoleva süsteemi raames katseandmeid.

2.2 Olemasolevad seadmed

2.2.1 Küttekontroller OUMAN EH-800

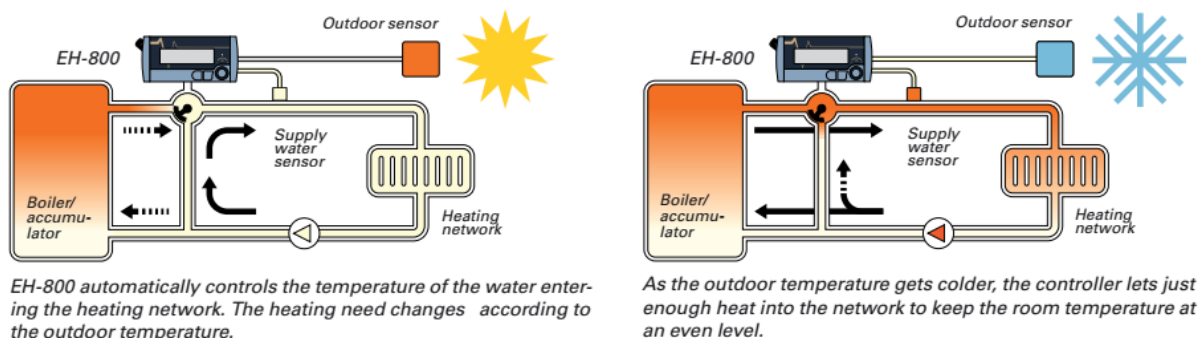
Küttekontroller OUMAN EH-800, eramutele ning väikestele ettevõtetele ette nähtud ühe kütteringiga (lisatäituriga laiendatav kuni 2 ringini) veeringluse baasil toimiva küttesüsteemi juhtseadeldis (joonis 2.1, 2.2). Küttekontroller on välja töötatud Soomes ning mõeldud kasutamiseks põhjamaises kliimas. Kontrolleri sisendid on leitavad tabelist 2.1. Lisaks arvutab kontroller välitemperatuuri eelmise päeva keskmist ning sama päeva sise- ja välitemperatuuri keskmiseid. [6]



Joonis 2.1. Paigaldatud OUMAN EH-800 küttekontroller (01.02.2021)

Kontroller võimaldab seada erinevaid kütteprofiile nii sise- ja välistemperatuuride järgi kui ka funktsioonidena keskmiste temperatuuride muudust [6]. Samuti on võimalik seadistada kütteprofiile aja järgi. Menüüd on võimalik seadistada ka eestikeelseteks, lihtsustades sellega kasutuskogemust.

Kontrollerit on võimalik ühendada andmesidevõrguga ning vastava laiendusega saab kontrollerile panna ka mobiilside sõnumi teavituste võimekuse. Üle mobiilsidevõrgu saadetavaid teavitusi saab seadistada ning lisada alarmidena. Laienduskanaleid on samuti võimalik kasutada alarmi sensoritena välistest süsteemidest, näiteks boileri termostaat või süüteseadme veaimpulss. [6]



Joonis 2.2. OUMAN EH-800 küttesüsteemi põhimõttelised näidised külma (paremal) ja sooja (vasakul) ilmaga. Kontroller laseb ainult vajaliku hulga sooja vett akumulaatorist kütteringi, et hoida toatemperatuur soovitud tasemel. [6]

Tabel 2.1 OUMAN EH-800 andurid [6]

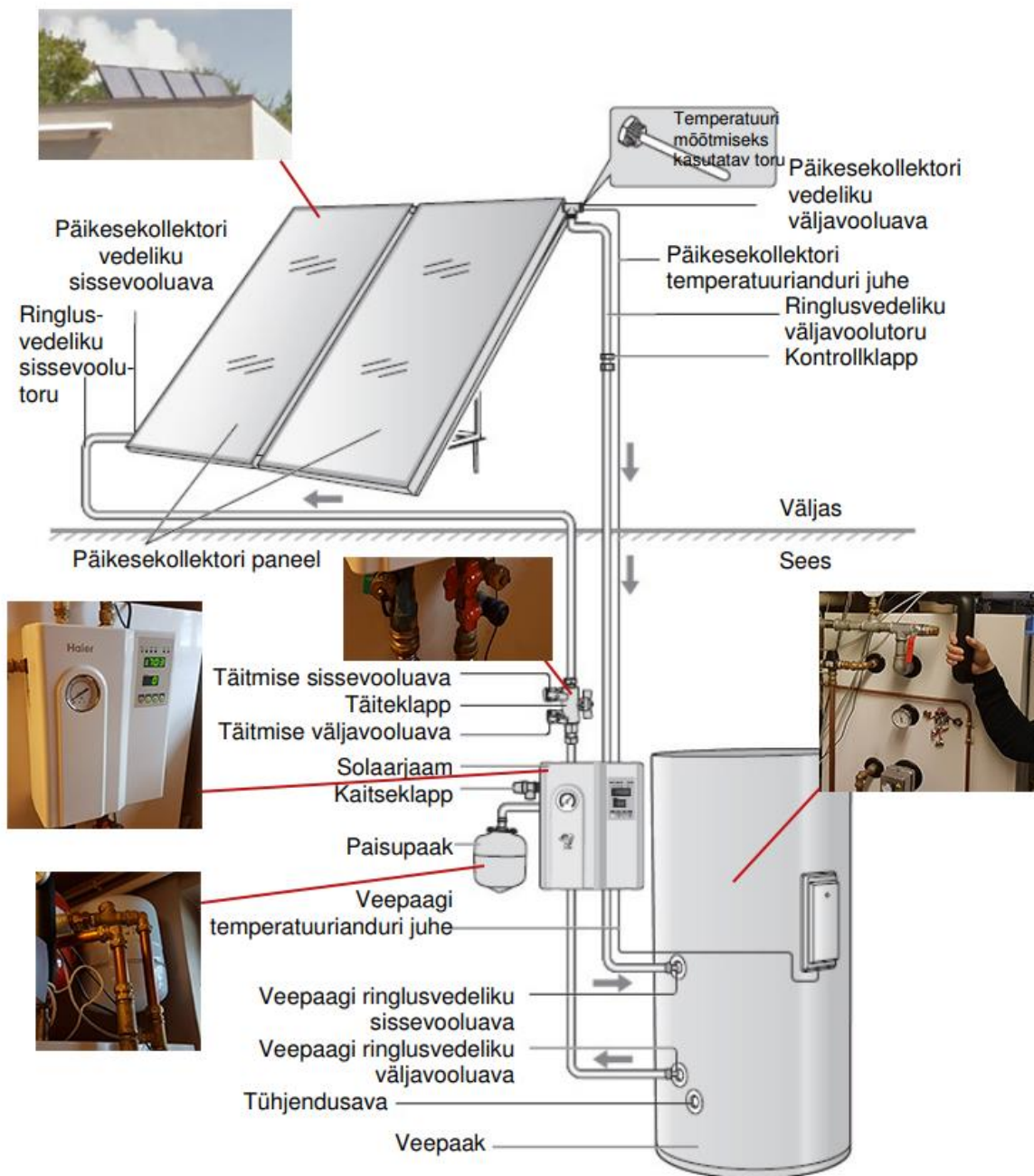
Mõõdetav sisend	Vahemik, ühik	Märkus
Vee temp. akumulaatorist	0 ... 130 °C	Kütteringi siseneva vee temperatuur
Välitemperatuur	-50 ... 50 °C	Välisõhu temperatuur
Toatemperatuur	-10 ... 80 °C	Toa õhu hetketemperatuur
Vee temp. kütteringist tagasi	0 ... 130 °C	
Laienduskanal 3	0 ... 130 °C	Laienduskanalitele on võimalik omistada nimetused ning nende töö siduda kütteprofiilidega. NB! 2 kütteringi korral on Laienduskanal 5 kasutusel. Laienduskanaleid on võimalik kasutada ka alarmidena.
Laienduskanal 4	0 ... 130 °C	
Laienduskanal 5	0 ... 130 °C	
Ventiili positsioon	0 ... 100 %	

OUMAN EH-800 omab ka veebiliidest (ligipääsetav, kui seade on ühendatud seadmel oleva RJ45 pordi vahendusel TCP/IP arvutivõrku) läbi mille on võimaldatud ligipääs kontrolleri hetkeandmetele ning mõningatele seadistustele, mis läbi on võimalik tulevikus integreerida kontrolleri andmestruktuur eraldiseisvasse andmehõivesüsteemi ning kaaluda ka tsentraliseeritud lahendust seadmete kontrollimiseks.

2.2.2 Solaarjaam Haier HR-SC

Lisakütteallikana on paigaldatud päikesekütte süsteemi juhtimiskeskus (edaspidi solaarjaam) Haier HR-SC, mis toimib katusele paigaldatud Haier-PGT 2.0-2 päikesekollektoritega (joonis 2.3). Solaarjaamal on täiendava kütteallikana paigaldatud ka elekterküte võimsusega 2,5 kW [7]

Solaarjaama töö põhimõte on olla vahendavaks n n „targaks“ lülits päikesekollektorite ning akumulatsioonipaagi vahel. Päikseküttesüsteem on suletud ringi veesüsteem, mille soojuskandjaks on vee ning propüleenglükooli segu, töö koostamise hetkel teadmata vahekorras. (erisoojus normaaltingimustel $C_p = 3,747$ (40 %) ... $3,559$ (50 %) kJ/(kg K)) [8]. Eeldatavasti 40...50 % mahust (külmumispunkt 40 (mahu)% propüleenglükooli lahuse korral on -22 °C ning 50 % korral -34 °C [8]. Hoone küttevee akumulatsioonipaaki on paigaldatud vesi-vesi soojusvaheti (torud).



Joonis 2.3. Solaarjaam Haier HR-SC ning päikesekollektorite Haier-PGT 2.0-2 lihtsustatud ühenduse skeem [7], millele on lisatud selgitavad fotod olemasolevatest seadmetest (pildistatud 28.01.2021).



Joonis 2.4. Vooluhulgaarvesti ning temperatuuriandur päikesekollektori ringlusvedeliku väljavoolutorul (28.01.2021)

Solaarjaam võimaldab kontrollida ja seadistada kütterežiime kellaaja ja temperatuuride erinevuse järgi. Solaarjaamal on ka sisseehitatud astmeliselt muudetava võimsusega ringluspump. Solaarjaama küljes püüdvad väljundid solaarjaama poolt kogutava ning analüüsitava informatsioonile ligi pääsemiseks, seeläbi on paigaldatud päikesekollektori ringlusvedeliku sisse- ja väljavoolutorudele temperatuuriandurid ning väljavoolutorule ka signaaliväljundiga veearvesti (joonis 2.4). [7]

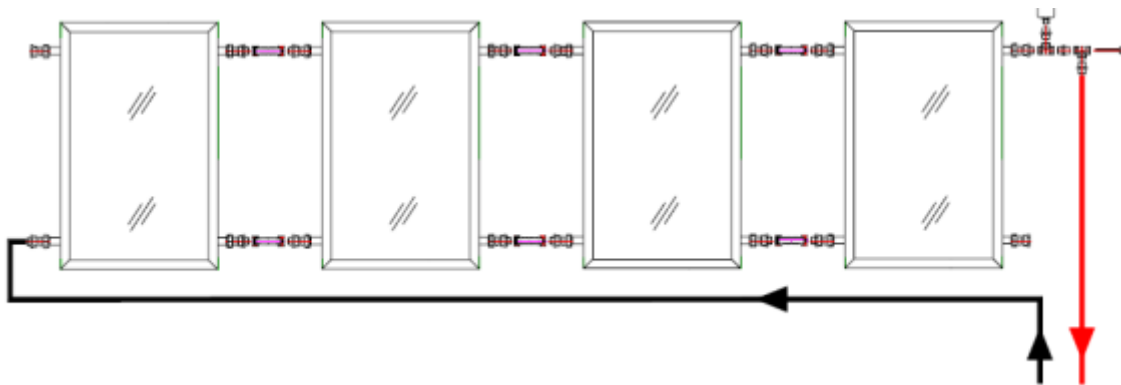
2.2.3 Päikesekollektorid Haier PGT 2.0-2

Hoone katusele on paigaldatud neljast Haier PGT 2.0-2 kollektorist koosnev metallkonstruktsioonile toetav kollektorpaneelide jadaühenduses süsteem (joonised 2.5, 2.6). Paneeli efektiivne pindala on $1,87 \text{ m}^2$, kaetud 4 mm karastatud päikseklaasiga, mille läbilaskvus on 91%. Päikesekiirgust absorbeerib spetsiaalse metall-keraamilise kattega vaskplekist plaatidest kattepind, kokku moodustavad paneelid päikesekiirgust absorbeeriva pinna $7,44 \text{ m}^2$. [10, 9]

Kollektorite ning solaarjaama ringi ühenduste üldistatud skeem on leitav joonisel 2.4.



Joonis 2.5. Päikesekollektorite jada 4x Haier PGT 2.0-2 paigaldatud hoone katusele lõuna suunal, eeldatav paigaldusnurk $45...49^\circ$ [Google StreetView, Google inc. Pildistatud 07.2014, külastatud 25.05.2021]



Joonis 2.6. Päikesekollektorite Haier PFT 2.0-2 nelja kollektorpaneeli jadaühenduse skeem [9].

Väljastatud Solar KEYMARK sertifikaadi lisa EN 12975 testitulemuste dokumendi kohaselt on keskkonna temperatuuril $t_a = 30\text{ °C}$ juures individuaalse kollektori kasutegur $\eta_a = 0,736$, nende parameetrite järgi on võimalik leida installeeritud kollektorjada sertifikaadijärgne teoreetiline väljundvõimsus: [10, 9]

$$P_{kteor} = S_p \cdot G \cdot \eta_a, \quad (2.1.)$$

kus P_{kteor} on kollektorinstallatsiooni teoreetiline võimsus W;

G - paneelile paistev kiiritustihedus (lihtsustatult 1000 W/m^2) W/m^2 ;

S_p - paneelide pindala m^2 ;

η_a - paneeli kasutegur ümbritseval temperatuuril $t_a = 30\text{ °C}$.

Rakendades valemit 2.1 saame kollektorijada teoreetiliseks väljundvõimsuseks $5,7\text{ kW}$.

Installatsioonijuhendis soovitusliku paigaldusnurga arvutamiseks tuleb võtta arvesse paigaldamise laiuskraadi [10]. Kuna paneelid on paigaldatud Tartusse, on paigalduse laiuskraadiks ümardatult $\beta = 58\text{ °}$. Leiame paneelide soovitusliku paigaldusnurga peamiselt suviseks kasutamiseks valemiga:

$$\alpha_p = \beta_l - 10\text{ °} \quad (2.2.)$$

kus α_p on paneeli paigaldamise soovituslik nurk[10] $^{\circ}$;

β_l - paneelide asukoha laiuskraad $^{\circ}$.

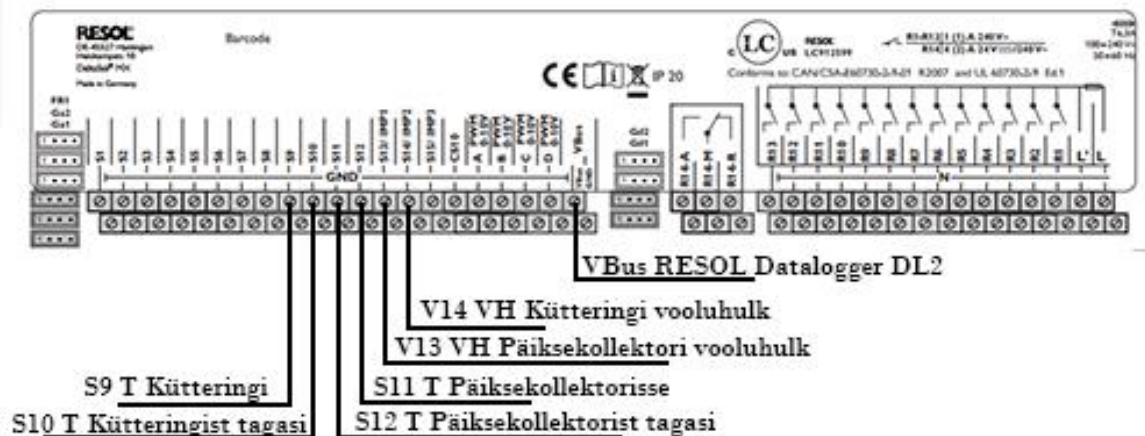
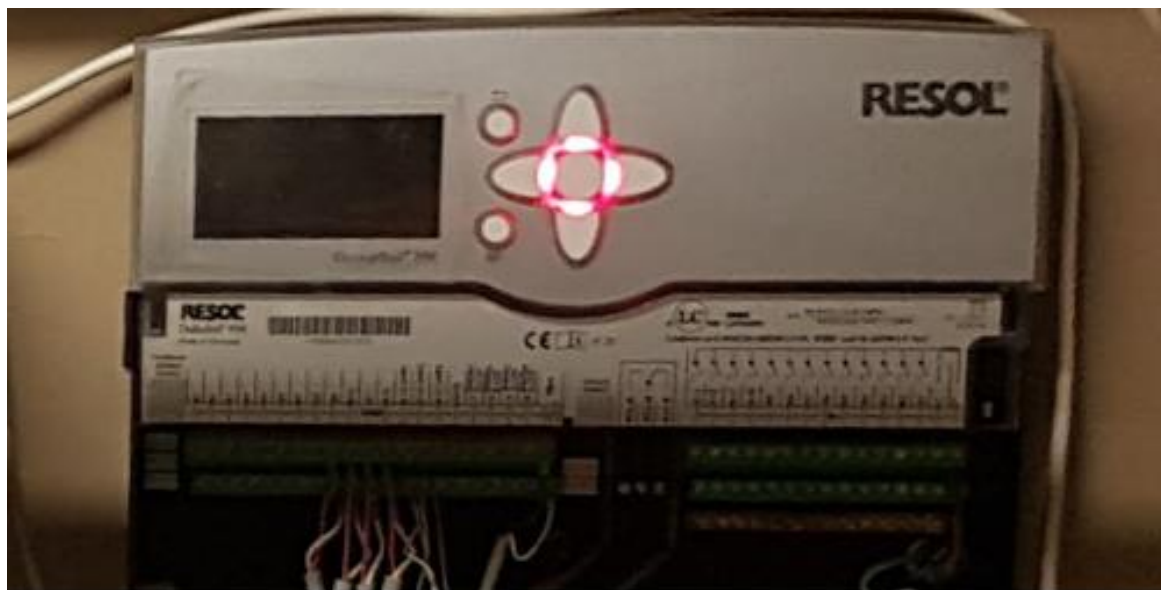
Rakendades valemit 2.2. saame paneelide optimaalseks kaldeks $\beta = 48^\circ$, mis on lähedal levinud praktikale paigaldada Eesti laiuskraadidel statsionaarselt lõuna-suunale 45° nurga all [11]. Töö käigus kollektorite paigaldusnurka ei mõõdetud.

2.2.4 Süsteemikontroller RESOL DeltaSol® MX

Andmeseire jaoks on paigaldatud süsteemikontroller RESOL DeltaSol® MX (joonis 2.7). Kontroller on loodud keskseks kontrollsüsteemiks nii päikeseenergia kui muude lahenduste vahel. Kontrolleril on 14 releeväljundit, 12 sisendit temperatuurisensorite ning kaugjuhtimise jaoks, VBus.net ühenduvus, 3 impulss-sisendit V40 tüüpi vooluhulgamõõturile, 1 sagedussisend, 1 CS10 tüüpi kiirgustugevuse mõõtja sisend, 4 Grundfos Sirect Sensors™ tüüpi sisendit, millest 2 on diskreetsed ning 2 analoog. [12]

Olemasolevas mahus on kontroller vaid andmete kogumiseks, kuid sellega on võimalik ka juhtida ka suuremat osa olemasolevast süsteemist. Erandina võib välja tuua vaid päikesekütte süsteemi juhtimiskeskuse Haier HR-SC, millel puudub väline liidestamise võimalus. Näiteks kütteringi pump (Grundfos) on Resol DeltaSol MX tarkvaraliselt toetatud, see tähendab, et on võimalik ka pumba võimsust kontrollida koostatud programmi järgi läbi RESOL MX seadmel. Probleemseks osutub, et vahelülina kasutatav Resol Datalogger DL2 ei ole loodud vahendama käske DeltaSol MX-le, see tähendab, et on koostatud andmehõivesüsteemiga on tulevikus võimalus näha pumba olekut, kuid seda ei ole võimalik kontrollida.

RESOL DeltaSol MX® sisendid ning väljund on iseseisvalt adresseeritavad ning loogikat võimalik ka nii öelda „nullist luua,“ kuid kontrolleril on ka kümneid eelprogrammeeritud režiime erinevate hübriid- ning tavakütteahelate kontrolliks. Sellisel juhul tuleb valida ahela tüüp, määrata ahela erinevate ettenähtud osade sisendid ning väljundid korrektsete terminali aadressidega ning valida meelejärgne kütteprofiil. [12]



Joonis 2.7. Süsteemikontroller RESOL DeltaSol® MX seinale paigutatult ning kontrolleri terminalploki skeem lisatud ühendustega [12]. Kontrolleri sisendid on ühendatud järgnevalt: S9-12 temperatuuriandurid päiksekollektori torustiku ning kütteringi peal; S13-14 V40 tüüpi vooluhulgamõõtur päiksekollektori torustiku ja kütteringi peal (28.01.2021)

Kontrolleri terminalide asetus paneelil on toodud joonisel 2.7. Olemasolevas lahenduses on terminaliplokki ühendatud 4 temperatuuriandurit (päiksekollektoris minev, päiksekollektorist tulev torustik, ruumikütteahelasse minev, ahelast tulev torustik) ning vooluhulgamõõturid mõlematel nimetatud naasvatel torudel. Lisaks on ühendatud ka RESOL VBus ühendusega kontrolleri võrgusidet pakkuva suhtlusmoodul RESOL KM 2, mis ei ole hetkel kasutuses.

2.2.5 Akumulaatorpaak 500 L

Akumulaatorpaagi eesmärk on pakkuda käsitletavale küttesüsteemile inertsit, see tähendab soojusenergia salvestamiseks. Kui maja radiaatorsüsteem oleks ühendatud otse gaasikatla külge, oleks küttesüsteem äkiline tänu süsteemi soojenemisele kõrgele temperatuurile kui süsteem töötab ning kiirele jahtumisele kui kütteseade on välja lülitatud. Suure kütteringiga lahenduse puhul tähendaks see, et kütte- ning soe tarbevesi oleks saadaval vaid siis, kui mõni küttesüsteemidest töötab, süsteemi inerts oleks vaid küttesüsteemi soojuskandja (torudes sisalduva vee) arvelt. Sarnaseid väga väikse soojusmahtuvusega lahendusi võib leida näiteks kortermajade mikro gaasi- ning elektriboilerite juures, kus vee n n ette soendamist suures mahus ei toimu (boilerite mahutavus 2 ... 10 L, lisaks küttetorude mahutavusele), vaid tarbitav vesi soojendatakse jooksvalt, tarbimise lõpus lülitub mikroboiler välja.

Selle asemel kogutakse ning salvestatakse soojusenergia akumulaatorpaagis olevasse soojuskandjasse, milleks on vesi (normaaltingimustel erisoojus $C_p = 4,1855 \text{ kJ/(kg K)}$), mida on võimalik ka väheste kadudega üle kanda teistes asukohtades kasutamiseks[13].

Akumulaatorpaaki on paigaldatud ka vesi-vesi soojusvaheti päikesekütte süsteemi soojuse kasutamiseks. Hoone omaniku sõnul rakendatakse päikesekütte süsteemi soojusvaheti soojusülekanne kasuteguri suurendamiseks ka akumulaatorivee kihistamist(stagnatsiooni) spetsiaalsete metallist vahevõredega. Soojusvaheti olukorda ei olnud võimalik inspekteerida ilma akumulaatorpaaki küttesüsteemist lahti ühendamata ning tühjendamata.

3. ANDMEHÕIVESÜSTEEMI LAHENDUS

3.1. Lahenduse ülesehitus

Andmehõivelahenduseks valis autor Raspberry Pi-l baseeruva keskse süsteemi, mis kogub andmeid kõikidelt välise ühenduse võimekusega süsteemidest ning haldab lihtsat relatsioonilist andmebaasi, kus on erineva allikaga andmed jagatud eraldi tabelitesse. Relatsiooniline andmestruktuur ei ole siinkohal tingimata vajalik, selle kasulikkus ilmneb siis, kui laiendada andmehõivesüsteemi funktsionaalsust ka andmeesitussüsteemiks ja/või süsteemikontrolleriks osadele mis võimaldavad ka saata instruktsioone. Sellisel juhul oleks lisaks andmetele vaja hoida ka sensorite tulpade ning andmeprofiilide seoseid, see tähendab, salvestada sensori asukoht ning funktsioon profiilina süsteemis, võimaldamaks arendada paremini suunatav matemaatiline tööriistade kogum.

Lisaks on relatsioonilist andmemudelit kasutades võimalik piirata Raspberry Pi säilmäluks oleva SD-kaardi kirjutuskordi mitte iga lugemistsükli peale, vaid ajalise kaalutlusega, n t iga 30 minuti tagant ning kui kasutaja süsteemis muudatusi teeb. Sellisel juhul saab andmekadu katkestuse, n t toitevoolu kadumise korral, olla maksimaalselt veidi alla 30 minuti, mis küttesüsteemi juures ei pruugi olla määrava tähtsusega. Tasub mainida, et kuna sellise lahenduse puhul ei saa juhtuda, et süsteem salvestab väärtuse „0“ sest oli katkestus enne andmete salvestamist ning puudub ajaline takt, see tähendab, et ridu ei populeerita aja intervalli haaval, vaid küsimise haaval ning aeg on lihtsalt üks tulp, mitte tabeli peavõti. See tagab, et puuduv lugem ei muuda graafiku üldkuju (ei sisesta 0), vaid vähendab lihtsalt kogutavate andmete definitsiooni. Lisaks on olemasolevate ning valitud seadmete eripära tõttu tagatud teatav kohalik varundus seadmete sees, seeläbi on taastamisel võimalik võrrelda olemasolevaid andmeid ning võtta vaid need mis puudu on (*diff*).

Lahenduse disaini tähtsaks elemendiks oli ka süsteemi vähem tehnoloogilised parameetrid nagu näiteks lahenduse haldamine ning ülalpidamise ja installatsiooni kulu. Sellest lähtudes olid eelistatud ka avatud lähtekoodiga vabavaralised platvormid. Kuna RESOL DeltaSol MX oli juba varasemalt paigaldatud ning RESOL-i välja arendatud seeriaühendus

VBus on suletud platvorm, oli tarvis kasutada RESOL-i poolt toodetud seadet, milleks sai valitud Datalogger MK2. Kui kogu kombineeritud küttesüsteemi kontroll ning andmehõive käiks läbi DeltaSol MX süsteemikontrolleri, oleks Raspberry Pi 2 model B süsteemis üleliigne, selle analüütilist funktsionaalust saaks samas kohtvõrgus oleva personaalarvutiga emuleerida, laadides Datalogger MK2-st andmed alla siis, kuid neid vaja (sellisel juhul kasvanud andmemahu arvestades vähemalt korra 18 kuu jooksul) ning reaajalähedasi andmeid vaadata Datalogger MK2 sisseehitatud veebiserverist. Sellisel juhul oleks ka võimalik anda nimetatud veebiserveri vahendusel ülevaatlisk pilt kogu küttesüsteemist, praeguse 6 anduri asemel.

3.2. Seadmete ühendused

Koostatud lahenduse riistvaraline mudel võtab arvesse potentsiaalseid laiendusi ning tehnoloogilisi muudatusi. Mudeli skeem joonisel 3.1. Joonisele on lisatud seadmete vahelised ühendused (s h torud) illustratiivsetena. Tegelikult ühenduvad Resol MK2 ning OUMAN EH-800 TCP/IP kohtvõrku, samuti nagu Raspberry Pi 2 *model B*. Samas kohtvõrgus aga liidestuvad nimetatud seadmed ainult Raspberry Pi 2-ga, mis küsib seadmetelt kogutavad andmed. Skeemilt puuduvad ka kontrolleri tööks vajalikud olemasolevad OUMAN EH-800 sise- ning välistemperatuuri andurid, sest töö mahus nimetatud tajuritega otse suhtlus ette nähtud ei ole, vaid ainult planeerituna läbi nimetatud seadme.

Väärib märkimist ka bakalaureusetöö lahenduses ette nähtud lisatavate elektroonikaseadmete käitamisest tulenev iga-aastane elektrienergia kulu. RESOL Datalogger DL2 nimivoolutarve on 5 V toite juures 350 mA [14], Raspberry Pi voolutarve on 5 V toite juures leitud 220...450 mA, kuid kasutame kõrgemat väärtust [15]. Kuna tegemist on alalisvooluahelatega, saame kohaldada alalisvooluahela elektrilise võimuse valemi leidmaks läbi seadmete elektrilisest võimsusest avalduva aastatarbimise:

$$A_l = \sum_{i=0}^n \frac{U_i \cdot I_i \cdot t_a}{1000}, \quad (3.1.)$$

kus A_l on seadmete poolt tarbitav aasta jooksul tarbitav energia kWh;

- n – tarbijate arv;
- U_i – tarbija nimipinge V;
- I_i – tarbija nimivool A;
- t_a – tundide arv aastas.

Rakendades valemit 3.1. seadmete nimi- ja piirjuhul saame aastarbimise 35,04 kWh, mis teeb töö koostamise ajal kehtiva Elekrilevi OÜ hinnakirja kohaselt aastaseks lisakulutuseks 2 eurot ning 67 senti [16]. Lahenduses ette nähtud paigaldusviisil on tegemist vaid andmehõivesüsteemiga ning puudub otsene kasu. Süsteemi väärimine toimub ainult läbi andmete teadliku analüüsi, see aga tähendab, et seadmetel eksisteerivad algkulutused (seadme hind, paigalduskulud), jooksvad aastased kulud ning puuduvad analüüsitavad tuluallikad. Teisisõnu, paigaldatav süsteem omab vaid andmehõive mõistes väärtust ning majanduslikust aspektist on siiski tegemist vaid kuluallikaga.

3.3. Lisatavad seadmed

Kuigi süsteemis on mingil määral olemas võimekus andmeid koguda ning edastada olemas (OUMAN EH-800), ei ole nimetatud seadmele rohkem andurite sisendeid anda. Lisaks ei ole seadmest loetavad andmed vaid veebilehe kujul ning andmetega rohkemate analüütiliste käikude jaoks on nii või teisiti pidevalt „kuulavat“ arvutiplatvormi tarvis.

Samuti on olemas võimekus andmeid esitada lisataval seadmeh RESOL Datalogger DL2, kuid ka sellel puudub hea viis vajadusel andmete töötlemiseks. Süsteem on piiratud

RESOL poolt arendatud veebilehega, millel olevaid väärtuseid on küll võimalik konfigureerida ning seada endale meeldivatesse hetkevaadetesse või graafikutesse suhteliselt vähese vaevaga, kuid andmekogumi analüüsivõimalust väga palju ei ole. Samuti on kogutavad andmed vaid seadmed, mida on võimalik DeltaSol MX süsteemikontrollerisse liita. [14]

Sellest lähtudes pidas autor vajalikuks lisada vähemalt 2 seadet, et kindlustada võimalus süsteemi laiendada ilma kardinaalseid ümberehitusi tegemata. Lisatavad seadmed testiti, veendumaks nende sobivuses ning platvormi jätkusuutlikkuses (joonis 3.2).



Joonis 3.2. Andmehõivesüsteemi testpink - RESOL Datalogger DL2 (paremal all) , Raspberry PI 2 model B (paremal üleval) ja TP-Link TL-WR1043ND v1 ruuter (vasakul) (06.03.2021)

3.3.1 RESOL Datalogger DL2

RESOL DL2 *Datalogger* (joonis 3.2) on andmehõiveseade, mis võimaldab ühendust kasutades VBus® protokoll. Seade võimaldab logida süsteemikontrollerite tööd ning lihtsas mahus ka andmeid esitada üle TCP/IP internetivõrgu. Seadmel on VBus® ühenduskaabel, üks rj45 pesa ning 5 V 2,1 A vooluadapter. Seadme nimivoolutarve on 350 mA. [14]

Seadmel on 160 MB salvestusruumi kogutud andmetele, salvestusruumi hõivet märgivad ka jada indikaator-LED tulesid seadme esipaneelil. Sisemälu arvestuslik täitumine ühe kütteringi ning ühe jälgitava tootmisringiga on 24 kuud. Andmekogu teisaldamiseks on seadmel ka SD kaardi pesa mis toetab kun 8 GB mahuga SD kaarte, mida kasutades saab andmed seadmest kopeerida väga lihtsalt. [14]

Lisaks jookseb seadmel lihtne veebiserver, mis võimaldab ligipääsu ning kuvada ühendatud süsteemikontrollerist salvestatud andmeid. Ligipääs üle TCP/IP võrgu on väga robustne ning ei ole hea tava lubada sellisele tundmatule veebiserverile ligipääsu laivõrgust. Lisaks võimaldab süsteem ligipääsu üle SSH, kui nimetatud suhtlusprotokoll on esmalt veebiliidesest konfigureerides lubatud.

Seade on võimalik registreerida VBus.net kaughalduskeskkonnas turvalise ning mugavama ligipääsu ning halduse jaoks. Sellisel juhul ei ole vaja lubada võrgus seadme kauge avastamine ning portide / hostinime suunamine, sest välisvõrgu olemasolul registreerib seade end ise RESOL-i pilve ning uuendab perioodiliselt ühenduse informatsiooni, edasi piisab seadme lisamisest VBus.net keskkonnas vaid 8-10 karakteriga ligipääsumärgise, mis on leitav seadme sildilt. [14]

Lahenduses ei kasutada RESOL VBus.net lahendust, sest tegemist ei ole kliendipaindliku süsteemiga. Lisaks seadmetele välisvõrgu juurdepääsu võimaldamine vajaminevas mahus tähendaks märkimisväärsede muudatuste tegemises kohaliku kohtvõrgu tulemüüris, mis ei ole soovitatav, sest selle tegevuse tulemusel luuakse hoone kohtvõrgu tulemüüri põhjendamatu erand, paljastades vana ning potentsiaalselt kriitiliste küberturvalisuse uuendusteta seade välisvõrgule.

3.3.2 Raspberry PI 2 mudel B

Raspberry Pi perekond on ühele trükiplaadile komplekteeritud väiksed arvutud. Raspberry Pi 2 model B-1 (joonis 3.2, 3.3) on 32bit ARM Cortex-A7 protsessor, 1 gigabait muutmälu, 100 Mbit/s ülekandekiirusega võrgukaart, 4 USB porti (mis toetavad ka laadimise funktsiooni), 40 adresseeritavat laiendus ühendust (*Pin*-id) HDMI, ning 3,5 mm komposiit heli ja video väljund, mikro-SD kaardi pesa ning eraldiseisev graafikakiirendi. [17]



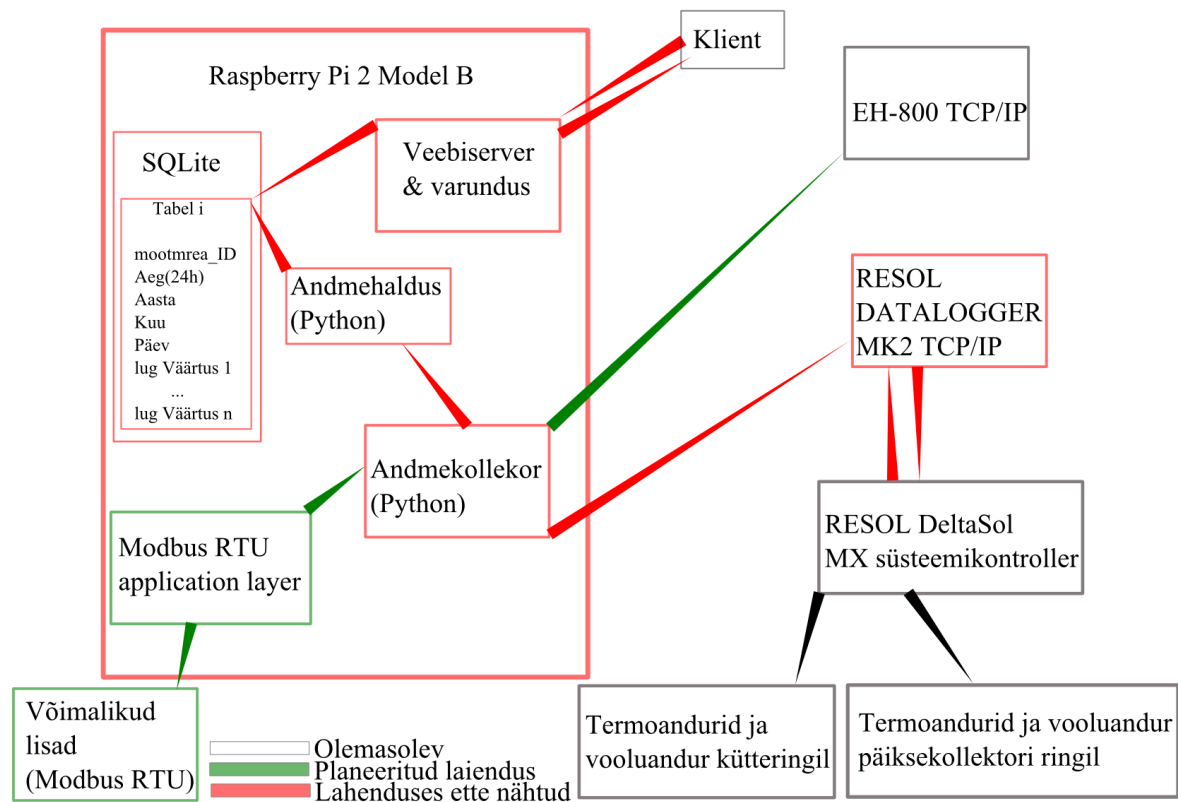
Joonis 3.3. Raspberry PI 2 model B korpuseta [17]

Raspberry Pi 2 Model B eesmärgiks antud süsteemis on olla andme- ning veebiserver. Kuigi Linuxi (ning isegi Windowsi) porte mis töötavad nimetatud väikse arvuti peal on palju, oli töös seatud eesmärkide saavutamiseks piisav Raspberry ökosüsteemi ametliku versiooni Linuxi kohaldatud viimane revisioon *Raspberry Pi OS*-ist.

3.4. Andmemudel

Andmemudeli eesmärk on pakkuda ülevaade süsteemi programmeeritava osa disainist ning üldisest loogikast. Andmemudeleid rafineeritakse ning täpsustatakse disainiprotsessi

esimestes etappides korduvalt, et saada optimaalsem tulemus. Tööriist võimaldab visuaalset ülevaadet süsteemi elementide sidususest. Koostatud stiliseeritud andmemudel on (joonis 3.4) on küll pealiskaudne, kuid kuna suurem osa liidestuvaid süsteeme on niinimetatud „must kast“ ei ole disainifaasis väga palju rohkem täpsust võimalik saavutada. Joonisel on märgitud ka andmepäringute algatamise suunad (noole laiemas otsas olev element algatab päringu vastavate süsteemi osade vahel). Sellega on tähtis arvestada, sest nii EH-8000 kui Datalogger MK2 ei ole võimalik muuta nii, et nad hakkaksid kindlate aegade või päästikute peale logitud andmeid saatma. Need süsteemid vastavad, kui nende poole pöörduda, kuid algne päring peab tulema mujalt. Lisaks on termo- ning vooluhulgaandurid DeltaSol MX küljes, mis on *SLAVE* (alam) tüüpi seadmed VBus võrgus.



Joonis 3.4. Planeeritud lahenduse lihtsustatud andmemudel. Joonte paksemad otsad näitavad mis seade või programmi osa päringuid alustab, isegi kui andmed kokkuvõttes teist pidi liiguvad. Elementide värvid näitavad ühenduse või elemendi rakendamise faasi (mustad olemasolevad, punased käesoleva lahenduse raames, rohelised laiendusevõimalusega).

Andmemudelile ei ole märgitud kasutatavaid protokolle. Datalogger MK2-ga toimub suhtlus üle FTP (*File Transfer Protocol*), laadides alla kogunenud mõõtmistulemuste CSV (*Comma Separated Value*) faili, võrreldes seda eelmisega ning salvestades erinevad (lisatud) read andmebaasi. EH-800 laienduse puhul tuleb tõenäoliselt rakendada HTML-i vormi väärtuste nuhkimist, sest seadme dokumentatsioonist ei olnud võimalik tuvastada, et sellel oleks mõni arvuti-loetav väljund kogutud andmetele.

Kogutud andmete (mitte kogu süsteemi) varundus toimub kohalikult (Raspberry Pi 2 Model B SD-kaardile) ning tulevikus hoone omaniku soovi korral ka avalikult GitHub repositooriumite keskkonda. Sellisel juhul on andmetele ligipääs olemas huvitatud osapooltel, kuid puudub isikustav seos tehnosüsteemi omanikuga (asukoht, IP, elanikud, hoone kuju, tehnovõrgu olemus j n e), sest üles laetakse vaid andmebaasi tabeleid e sensorite jäädvustatud väärtuseid teatud ajahetkel. Lisaks on vea korral andmebaasi taastamine väga kerge. Samuti on veebilehitsejaga kliendil võimalus algselt kogutud andmete varundus ning salvestada värske tõmmis enda arvutisse CSV failide pakitud konteineri näol.

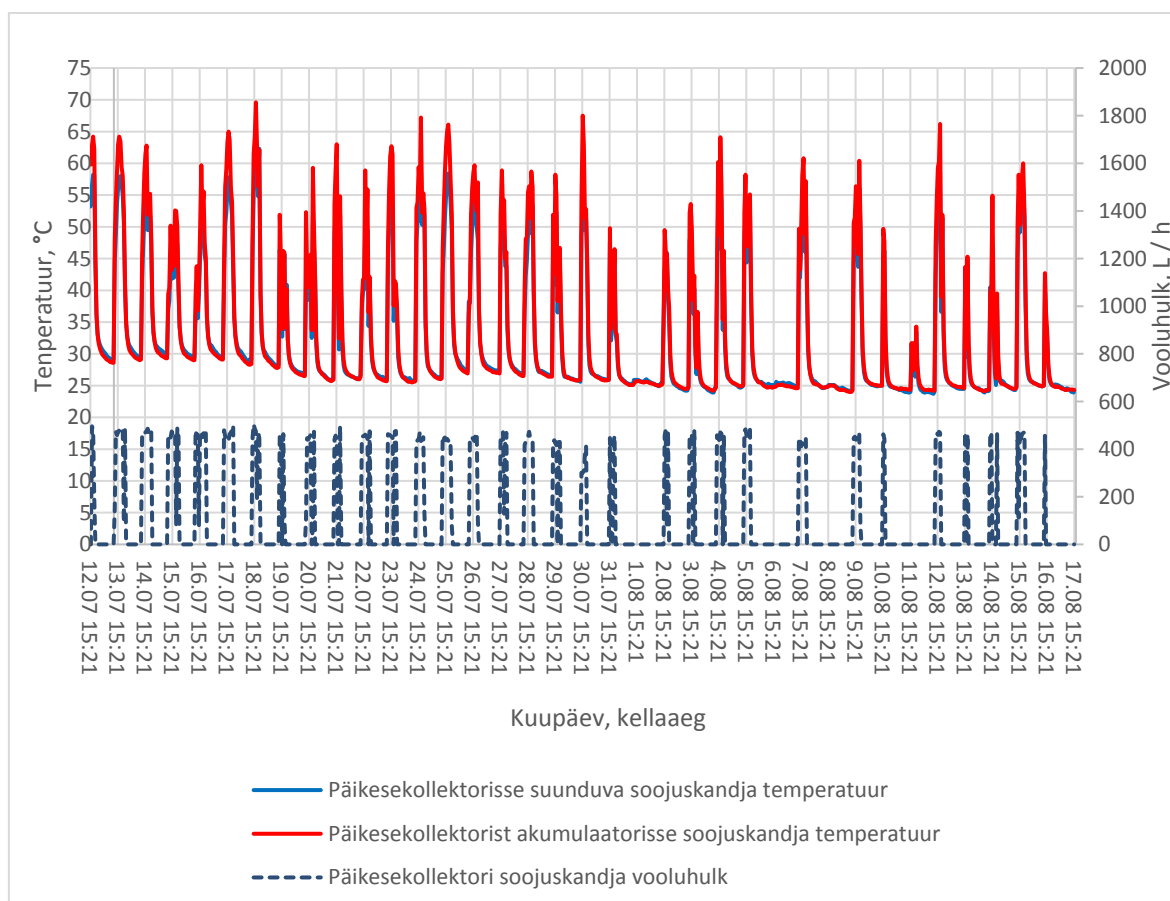
3.5 Paigaldatud süsteemist kogutud andmed

Paigaldatud andmehõivesüsteemi väljundandmeid analüüsid ning Tartu linna ilmastikuandmetega kõrvutades (arhiivandmed, kogutud Tartu Ülikooli keskkonnanähtuse labori poolt, W. Ostwaldi 1, Tartu linn hoone katusel, c a. 1,2 km kaugusel uuritavast hoonest) on võimalik analüüsida olemasoleva küttesüsteemi tööd, küttesüsteemi käitaja harjumusi ning lahenduse võimalikke kitsaskohti, eriti ebahetkese küttevajadusega perioodi jooksul. Andmeid koguti kuumal suveperioodil, kus öine õhutemperatuur langes vaid korra 10 °C – ni, jäädes valdavatel päevadel üle 20 °C, juhuti tõustes isegi üle 30 °C (joonis 3.5, joonis 3.9). Kuna andmehõivesüsteem katab osaliselt ka päikesekollektorite soojatorustikku, sai Tartu Ülikooli keskkonnanähtuse instituudi meteoroloogialabori andmetest kasutada kogutavaid kiiritustiheduse E_e (kiirgusvoog pinnaühikule, W/m²) andmeid. Kiiritustiheduse andmed on kajastatud joonistel 3.6 ning 3.9. Andmevalimid ning sammud on olukorra ning rakenduse jaoks liigselt suured, kuid andmepilve resolutsiooni vähendades hakkasid kaduma tähtsad karakteristikud kontuurid.

Valitud on ülevaatlilik andmekogum 12. juuli – 17 august kirjeldamaks olustikku ning konkreetse paigaldise suvise kütmise eripärasid. Sellele lisaks on valitud andmekogum osalisest ajast, kus oli eluruumide kütteringi pump sisse lülitatud 14. – 15. juulil.

3.5.1 12. juuli- 16. august ülevaatlilikud andmed

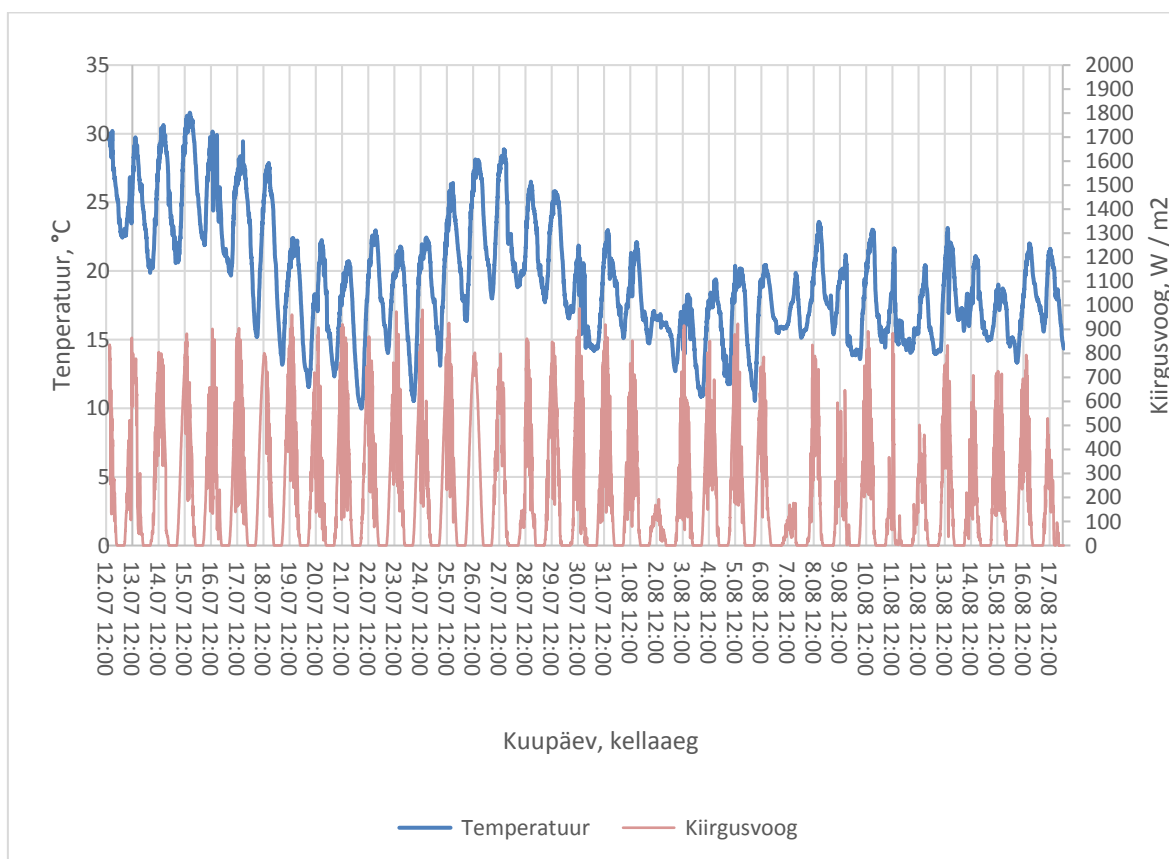
Ülevaatliku andmekogumi analüüsil selgus, et vaatamata tajutavale ilmade jähnemisele ning paarile väikse kiiritustihedusega päevale (joonis 3.6) rakendus autonoomne päiksekollektori kontrollsüsteem (ning selles olev ringluspump) peaaegu igapäevaselt (joonis 3.5).



Joonis 3.5. Päiksekollektori kütteringi temperatuur 12. juuli - 17 august 2021.

Kuna päiksekollektori soojusvaheti optimaalne töötemperatuuride vahe sisend- ja väljundtemperatuuride vahel on $\Delta t = 5\text{ °C}$, on joonisel 3.5 kujutatud päiksekollektori kütteringi sisend-ja väljundtemperatuuri graafikud resolutsiooni tõttu teineteisega kattuvad. Päiksekollektori soojusvaheti töö on paremini kirjeldatud joonisel 3.8.

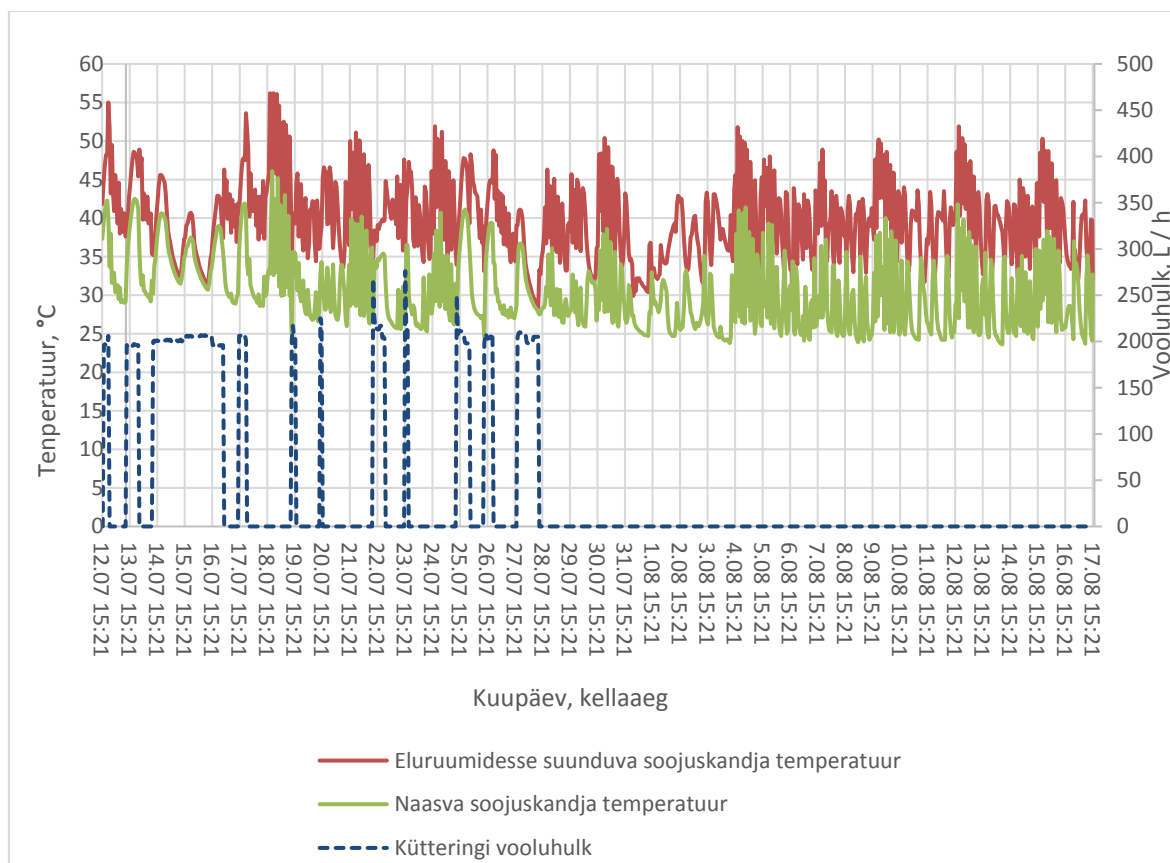
Analüüsitud perioodi esimene pool oli Tartu piirkonnas väga soe (joonis 3.6) ning päikseline, kiiritustihedus ületas kuni 1. augustini iga päev vähemalt ühes punktis 800 W/m², küündides kohati suve algusele omasema 1000 W/m² lähedale. Öiste ja päevaste temperatuuride vahemik oli päikselisel ja kuival ajal küll muutuv, kuid amplituud sarnane. Vähesema kiiritustihedusega, eeldatavasti ka niiskemad ilmad aga töid madalamad, kuid väiksema ööpäevase amplituudiga temperatuurid (joonis 3.6).



Joonis 3.6. Kiiritustihedus ning välitemperatuur Tartus 12. juuli - 17 august 2021 [andmed: Tartu Ülikool, füüsika instituut, keskkonnanfüüsika labori arhiiv, ilmajaam.physic.ut.ee]

Keskliste temperatuuridega tugevalt üle 15 °C ning pea igapäevase temperatuuri maksimumiga üle 20 °C ei olnud vajadust eluruumide kütteringi sees hoida, seepärast lülitati manuaalselt eluruumide kütteringi pump sisse ning välja (joonis 3.7, joonis 3.10). Joonistel kirjeldatud kütteringi temperatuuride kiireloomuline tõus ning jahtumine on eelduslikult seotud soojuspumba tööga ning akumulaatorpaagi märkimisväärse tsirkulatsiooni puudumisega. 14.07-16.07 töötas eluruumide kütteringi tsirkulatsioonipump katkematult ning sel ajal stabiliseerusid jäädvustatud eluruumide kütteringi temperatuurid

märkimisväärselt. Andurid on paigaldatud alla 1 m kaugusele akumulaatorpaagist ning mõlemad andurid asuvad paagist kõrgemal. Küttesüsteemid on vajalikud, sest küttesüsteemi kasutatakse ka tarbevee soojendamiseks. Kõikide küttesüsteemide välja lülitamine tähendaks, et lõpeks ka soe tarbevesi.



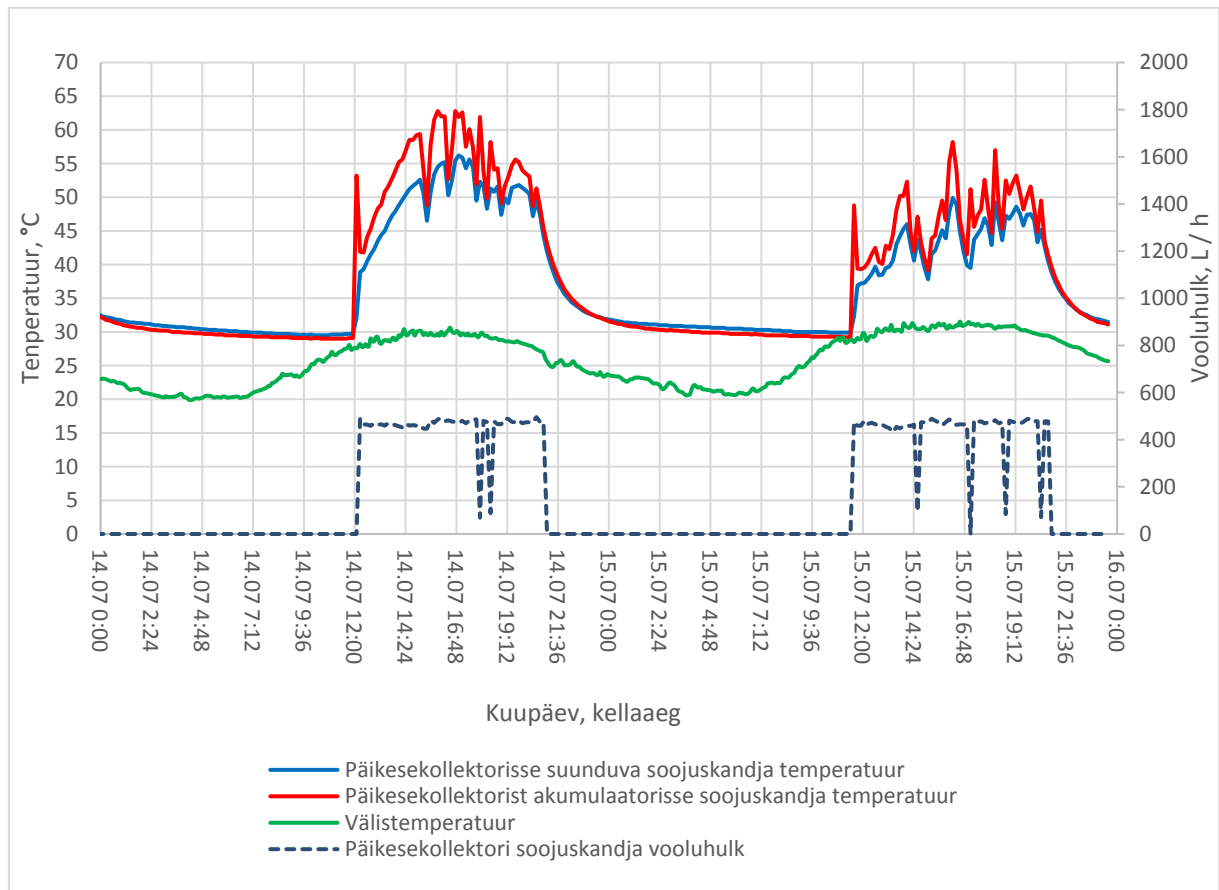
Joonis 3.7. Hoone kütteringi temperatuur 12. juuli - 17 august 2021.

Väärib märkimist, et peale 28. juulit eluruumide kütteringi pumba andmeperioodi lõpuni sisse ei lülitatud. Stabiliseerumine 31.07-04.08 juures on selgitatav jahedamate ning niiskemate ilmadega, mille jooksul ka päiksekollektori tsirkulatsioonipump käivitus palju vähem.

3.5.2 Täpsustatud vaade lühemale perioodile 14-15.07.2021

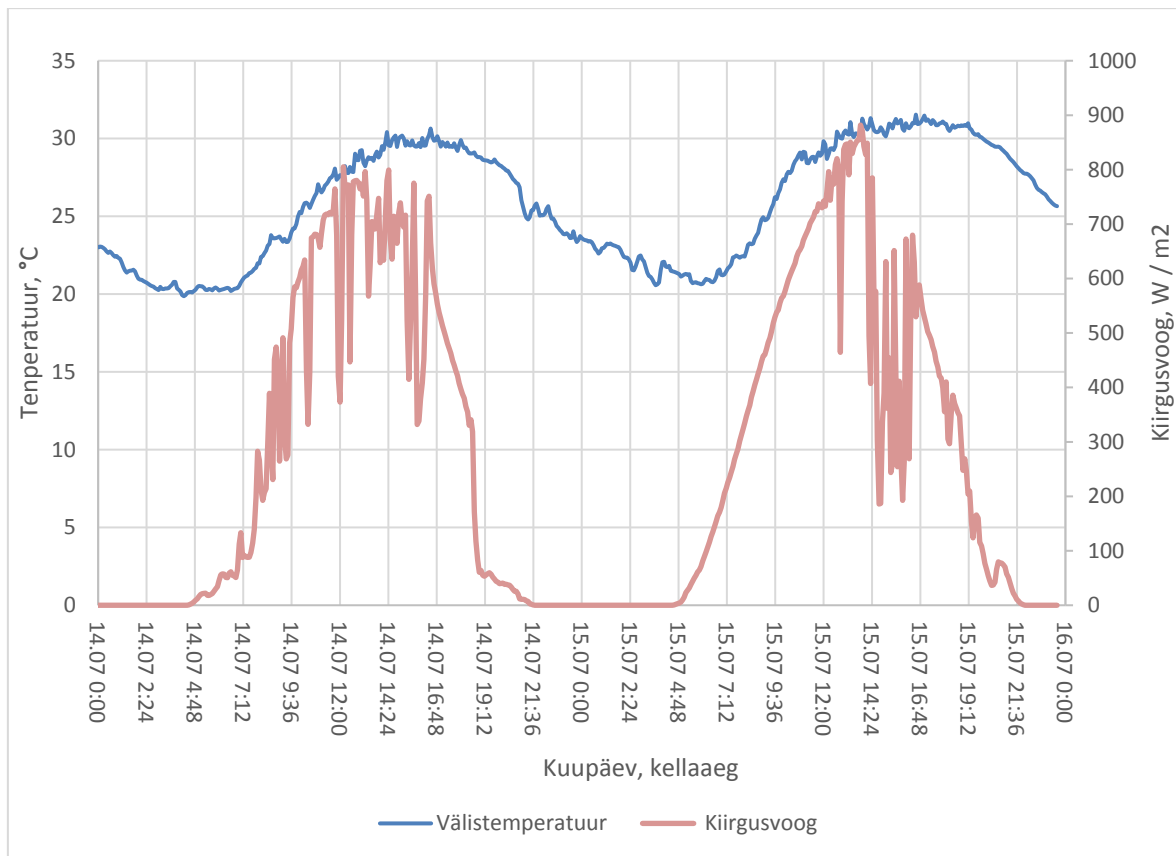
Täpsustatud perioodi vaatel on kogutud andmed paremini eristatavad ning graafikuid on võimalik kasutada veidi detailsema analüüsi jaoks. Periood 14.-15. on valitud seepärast, et selle jooksul on kergesti eristatavad mitmed huvi pakkuvad olukorrad. Mõlemal päeval oli väga soe ($t_{\max} > 30\text{ °C}$) ning paistis päike, kuid kiiritustiheduse (joonis 3.9), ning selle funktsioonina päiksekollektori (joonis 3.8) väljundi karakteristik on erinev. Samuti töötas

kütteringi pump suurema osa vaadeldavast ajast katkematult (ainuke periood kogutud andmete vältel), mis omakorda stabiliseeris eluruumide kütteringide temperatuurid (joon 3.10).



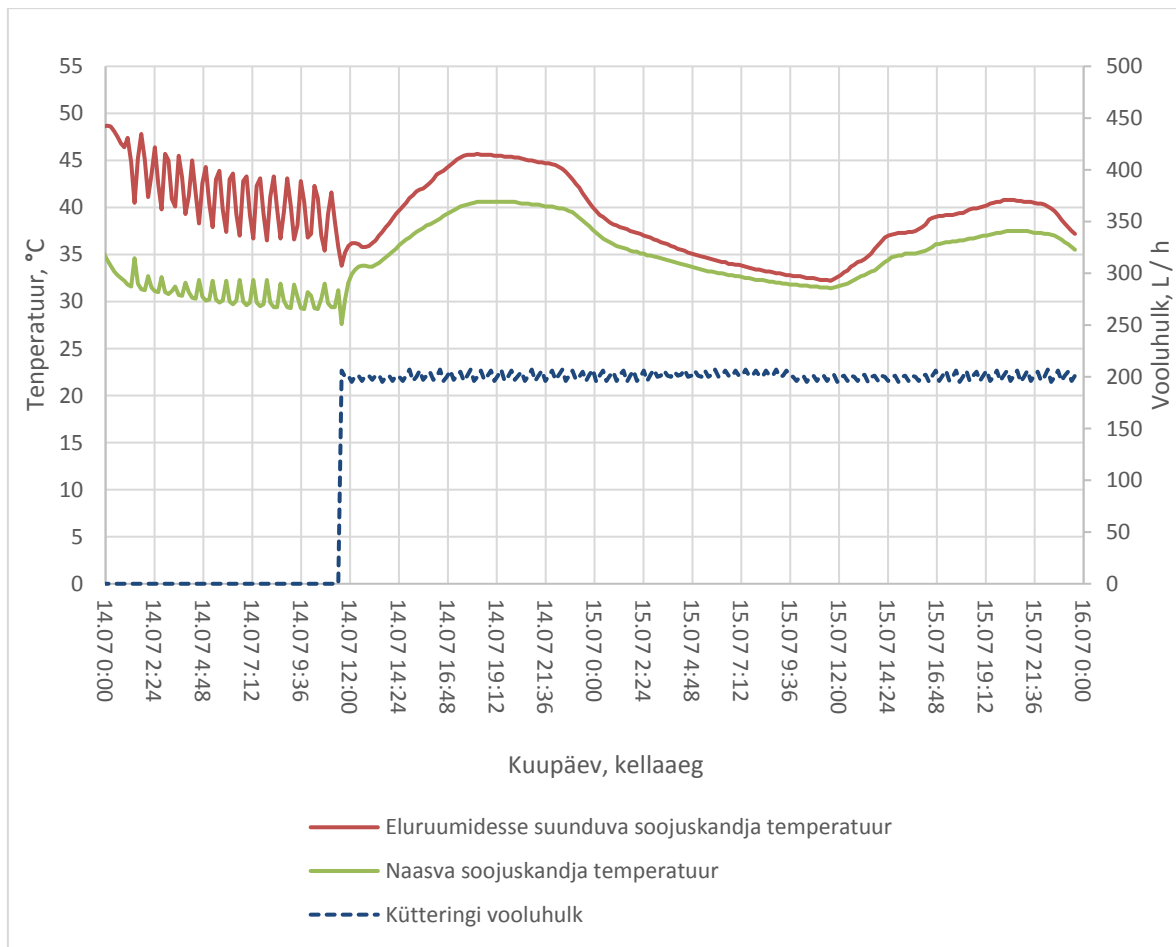
Joonis 3.8. Päikesekollektori kütteringi temperatuur 14. juuli - 15 juuli 2021.

Märkimist väärib päikesekollektori kontrolleri töö, mis hoiab süsteemi töötades kollektori sisend- ja väljundtemperatuuride vahet väga ühtlasena ning korrigeerib, kui Δt ületab $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (joonis 3.8, 14.07 päev). Seade ei vaja sekkumist ning toimib autonoomsena. Probleemne on, et seadmega ei ole võimalik sidet luua, et koguda andmeid temperatuuri, kraanide positsioonide j n e kohta.



Joonis 3.9. Kiiritustihedus (kiirgusvoog kiirgust vastuvõtva efektiivpinna kohta) ning välitemperatuur Tartus 14. juuli - 15 juuli 2021 [andmed: Tartu Ülikool, füüsika instituut, keskkonnanäfüüsika labori arhiiv, ilmajaam.physic.ut.ee]

Vaadeldav periood pakkus hea ülevaate väga soojadest päevadest (kuigi mitte täiesti pilvitu, nagu võib järeldada kiiritustiheduse (joon. 3.9, roosa) ning päiksekollektori väljundliini (joon. 3.8, punane) temperatuurigraafikutest. Sellisel ajal paistab autonoomsetel küttesüsteemidel olema probleeme vajaliku tasakaalu leidmisega ning vajalik on operaatori sekkumine (pumba välja lükkamine, et mitte kütta eluruumi kui väljas on 30 °C sooja, aga siiski soovid sooja tarbevett kasutada).



Joonis 3.10. Hoone kütteringi temperatuur 14. juuli - 15 juuli 2021

Hoone kütteringi temperatuuri detailsemal graafikul (joonis 3.10) kajastub hästi ringluspumba süsteemi temperatuuri stabiliseeriv jõud. Enne ringluspumba käivitamist on näha märkimisväärt erinevust akumulaatorpaagi vee temperatuuride muutumises võrreldes pärast ringluspumba käivitamisega. Kuigi see graafikult andmete resolutsiooni tõttu hästi esile ei tõuse, on „närviline“ soojendamine ning jahtumine siiski olemuselt sinusoidne. See viitab soojuspumbale, mis aktiveerub temperatuuri järsu languse peale, kütab ette nähtud temperatuuride vahe jagu ning lülitab end välja. Sama soojuspump on aktiveeritud kogu aeg, kuid kui ringluspump töötab, segunevad soojemad ning külmemad veekihi ühtlasemalt ning ei teki „värisemist“ kus soojendatakse ainult väikest osa seisvast akumulaatoriveest, mille peale lülitub termostaadiga kontrollitud aparaat välja.

3.6 Arutelu

Lahenduse disaini puhul oli peamiseks kriteeriumiks majanduslik ja tehnoloogiline mõistlikkus, kuid suuresti ole sellesse arvestusse võetud arendaja aega. Nimistust mitmel seadmel on veebiliides ning andmeesitusvõimekus olemas ka ilma Raspberry Pi 2 Model B-ta, kuid sellisel juhul oleks üks eeldus iga kord analüüsi jaoks logida kahte eri „must kast“ seadmesse sisse, et koguda informatsiooni sama süsteemi kohta.

Lisaks on RESOL DeltaSol MX süsteemikontrolleril kasutamata kõik releekontaktid ning suurem osa sisendeid. Olemasolevat süsteemi veidi ringi ehitades saaks paremini kontrollida ka gaasikatla tööd ning liidestades Haier-i solaarjaama andurid ning täiturid otse DeltaSol MX süsteemikontrolleri külge, oleks võimalik nimetatud seadet kasutades emuleerida Haieri solaarjaama kontrollerit, see võimaldaks jälgida ning optimeerida päikesekollektorite ülekandeahela tööd. Varem olemas olnud lahenduse kohaselt tuli muudatuste tegemiseks või temperatuuride ning voolu uurimiseks minna tehnoruumi ning opereerida Haieri esipaneeli nuppe. Nüüd on paigaldatud samale ringile temperatuuriandurid ning voohulgaandur. Autor leiab, et tõenäoliselt on varasemalt paigaldatud RESOL DeltaSol MX ning sellega kaasa tulnud termosensid ja vooluhulgamõõtjad sel samal põhjusel päikesekollektori ning kütteringi torudele: sest Haier seadme kasutatavale infole ei olnud mõistlikult võimalik ligi pääseda.

Esitatud andmetes, eriti p t 3.5.2 lühema perioodi osas on näha käesolevas töös korduvalt välja toodud süsteemi vähest automatsiooni taset, kus soojade ilmadega lülitatakse eluruumide küttering käsitsi välja. Selline protseduur teeb küttesüsteemi kontrollimise väga haldaja graafikust sõltuvaks ning vähendab hübriidkütte ühte märkimisväärset müügipunkti – efektiivsust. Tasub ka mainida suhtelist ebamugavust, kui suvisel ajal peab sooja tarbevee saamiseks 2 korda päevas tehnoruumis küttesüsteemi opereerimas käima.

Eelnevas lõigus nimetatud probleemidest ajendatuna valis autor lahenduse, mis võimaldab lihtsa vaevaga laiendada süsteemi ning isegi lisada kontrollitavaid ning programmeeritava loogikaga releesid, et enam ei peaks käsitsi pumpa vooluvõrgust välja tõmbama.

Katseandmete kogumise periood ei olnud ideaalne küttesüsteemi optimaalse ning efektiivse töö hindamiseks (kuumemaid suvesid Eesti lähiajaloos), kuid siiski pakkus väärtuslikku informatsiooni seoses automatiseeritud küttesüsteemi hooajavälise

käitamisega. Küttesüsteemi omaniku kogemusele tuginedes on automaatsetest ning pool-automaatsetest küttesüsteemidest koosneva hübriidküttesüsteemiga märkimisväärselt palju tööd just väljaspool kütteperioodi.

KOKKUVÕTE

Käesolevas bakalaureusetöös käsitleti eramaja kombineeritud küttesüsteemile tsentraalse andmehõivesüsteemi lisamise võimalusi ning pakuti välja ka majanduslikult ning tehnoloogiliselt mõistlik lahendus. Lahenduse väljatöötamise käigus analüüsiti ka olemasolevaid süsteeme ning leiti, et osad kontroll-süsteemidest on juba suutelised enda osa andmetest inim-loetaval kujul ka esitama. Paigaldati andmehõiveseadmed ning lisati suveperioodil kogutud kütteandmed hübriidküttesüsteemi kohta.

Välja pakutud lahendus võimaldab soovi korral liidestada ka gaasi- ning voolumõõdikute kauglugemisseadmeid. Kirjeldatud juhul on võimalus saada järjest täpsem pilt tarbitavast ning kaotatud energiast, samuti on võimalik kogutud informatsiooni põhjal luua optimaalsemaid küttemudeleid, kus olemasolevad erinevad küttesüsteemid toetavad teineteist oma kõrgeima (või teiste madalaima) kasuteguri.

Andmehõivesüsteemi keskmeks on valiti Raspberry Pi platvorm, seda tema madala hinna, mugava liidestatavuse ning väga väikeste mõõtmete pärast. Lisati ka olemasoleva RESOL süsteemikontrolleriga suhtlemiseks RESOL-i arendatud VBus.net platvormi kasutatav seade Datalogger DL2, mis lisaks andmete edastamisele varundab ka kuni 180 päeva andmeid olemasolevast RESOL DeltaSol MX kontrollerist.

Kogutud andmete analüüsist selgus, et antud hübriidlahenduses mitmest automaatsest ning poolautomaatsest küttesüsteemist koosnev lahendus ei ole efektiivne ega mugav hallata väljaspool kütteperioodi. Seadmed vajasis igapäevast sekkumist, et hoone elanike elukvaliteet ega rahakott ei kannataks.

Eelmises lõigus välja toodud probleeme silmas pidades on ette nähtud süsteemile laiendatavus, et oleks võimalik tõsta tsentraalse süsteemi integratsiooni ning kontrolli individuaalsete komponentide üle. Lisaks, suurendatud andmehõive võimekus võimaldab koguda informatsiooni, millelt tulevikus teha informeeritud otsuseid küttesüsteemi laiendamise osas.

KASUTATUD KIRJANDUS

- 1) **Krawczyk, D. A.** (2016) Analysis of energy consumption for heating in a residential house in Poland - *Energy Procedia* 95(2016) 216-222. Elseiver Ltd
- 2) **Xu, Q., Riffat, S., Zhang, S.** (2019) Review of Heat Recovery Technologies for Building Applications – *Energies* 12, nr. 7: 1285
- 3) **Gustavsson, L., Joelsson, A.** (2010) Life cycle primary energy analysis of residential buildings – *Energy and Buildings* 42 (2010) 210-220, Elseiver Ltd
- 4) Fortum Tartu OÜ (2021) Kütusesegu ja CO₂ heide [veebiressurss] <https://www.fortumtartu.ee/kliendile/kutusesegu-ja-co2-heide/> [28.05.2021]
- 5) **Vašak, M., Martinčević, A.** (2013) Optimal Control of a Family House Heating System – *Proceedings of 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (Eds. Biljanovic, P et al.), Opatija, Croatia
- 6) **Ouman Oy** (2017) *OUMAN EH-800 Heating controller* https://ouman.fi/wp-content/uploads/2018/08/EH-800__manual__en.pdf [23.05.2021]
- 7) **Haier water heater company** (2009) *Haier Kasutusjuhend Solaarjaam HR-SC* <https://www.soojuspumbad.com/1/wp-content/uploads/HR-SC-kasutusjuhend.pdf> [23.05.2021]
- 8) Engineering ToolBox (2003). Propylene Glycol based Heat-Transfer Fluids. [veebiressurss] https://www.engineeringtoolbox.com/propylene-glycol-d_363.html [26.05.2021]
- 9) **Haier water heater company** (2009) *Haier flat panel solar collector Installation manual* <https://www.soojuspumbad.com/1/wp-content/uploads/PGT2.0-2-UM.manual.pdf> [26.05.2021]
- 10) **DIN CERTCO** (2009) *Summary of EN 129575 Test Results, annex to Solar KEYMARK Certificate* https://www.soojuspumbad.com/1/wp-content/uploads/TUEV-RDIN-CERTCO_Flachkollektor001.pdf [26.05.2021]
- 11) **Tomson, T., Voll, H., Maivel, M** (2010) Solar Heat Generation in Estonia and its Peculiarities - *EuroSun 2010, 8th EuroSun Conference Proceedings* (ISES Europe) Graz, Austria

- 12) **RESOL – Elektronische Regelungen GmbH** (2020) *DeltaSol® MX System controller for complex solar and heating systems*
https://www.resol.de/Produktdokumente/11213441_DeltaSol_MX.monen.pdf [20.02.2021]
- 13) **Engineering ToolBox** (2004). *Water - Specific Heat* [veebiressurss]
https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-water-d_660.html
[28.05.2021]
- 14) **RESOL – Elektronische Regelungen GmbH** (2021) *Datalogger DL2 – Mounting, Operation* https://www.resol.de/Produktdokumente/48003741_Datalogger_DL2_V2.monen.pdf
[20.03.2021]
- 15) **Geerling, J** (s.a) *Raspberry Pi Dramble - Power Consumption Benchmarks*
[veebiressurss] <https://www.pidramble.com/wiki/benchmarks/power-consumption>
[28.05.2021]
- 16) **Elektrilevi OÜ** (2020) *Elektrilevi võrguteenuste hinnakiri* https://www.elektrilevi.ee/-/doc/8644141/kliendile/Elektrilevi_hinnakiri_vorguteenuse_hinnad_alates_1_jaanuarist_2020_EST.pdf [28.05.2021]
- 17) **Opensource.com** (s.a) *What's a Raspberry PI?* [veebiressurss]
<https://opensource.com/resources/raspberry-pi> [21.05.2021]

SUMMARY

In this Bachelor's thesis, a central data acquisition system for a small one home combined heating plant was researched to design and offer an economically and technologically sound solution. During the design process, while analyzing, some existing systems and devices were found to already be able to present gathered data in human-readable formats. Data acquisition devices were installed and heating data for the summer months was gathered.

The designed solution also offers the potential of connecting the various other parts of the heating system, for instance gas and electricity metering, which are remotely monitored by the service providers. Using this data, it is possible to paint a clearer picture regarding used and waste energy, also it's possible to create and adjust optimal heating models based on the information gathered, to have the various heating systems support each other to maximize the efficiency or minimize the waste of the individual systems.

The center of the data acquisition system was chosen to be the Raspberry Pi platform, mainly due to the factors of it's low price, easy connectivity and really small dimensions. Also added was a RESOL VBus.net platform-supported device Datalogger DL2 to Connect to the existing RESOL system controller. The Datalogger DL2 also provides an offline backup of up to 180 days for the system data in case of a network emergency.

Analysis of the gathered data revealed many inefficiencies with the hybrid heating system consisting of various independent automatic and semi-automatic heating systems, making the heating plant inefficient and uncomfortable to handle outside of main heating periods. Some devices needed daily operator intervention to keep the inhabitant's comfort levels up and incurred costs down.

Basing mainly on problems mentioned in the previous paragraph, the data acquisition system is designed with expandability in mind to increase the central system integration and control over individual components. Furthermore, increased data acquisition capabilities allows for more information to be gathered, enabling informed decisions regarding future expansions of the plant's heating systems.

LISAD

Lisa 1 Lihtlitsents

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Andreas Kärp
sünniaeg 26.03.1990,

annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
„Andmehõivesüsteem kombineeritud küttesüsteemile,“ mille juhendajad on Erkki Jõgi ning
Toivo Kabanen,

salvestamiseks säilitamise eesmärgil, digiarhiivi DSpace lisamiseks ja veebikeskkonnas
üldsusele kättesaadavaks tegemiseks kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni; olen
teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile; kinnitan, et lihtlitsentsi
andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest
tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Andreas Kärp
(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Juhendaja: Erkki Jõgi
(allkirjastatud digitaalselt)
Juhendaja: Toivo Kabanen
(allkirjastatud digitaalselt)